奖惩动机诱发对网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新功能的影响

高源霞[1,2]　王江洋[1]
[1]（沈阳师范大学教育科学学院　沈阳　110021）
[2]（天津师范大学心理学部　天津　300387）

摘要：
[目的] 探讨网络游戏成瘾对大学生工作记忆刷新功能的影响，以及奖惩动机在其中发挥的作用。
[方法] 研究通过在 N-back 任务中分别操纵金钱奖励和金钱损失，考察奖励动机和惩罚动机诱发对网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新表现的影响。
[结果] 网络游戏成瘾大学生的工作记忆加工程度较弱，即反应时较长且正确率较低；奖励动机诱发能够提高成瘾大学生的加工程度，惩罚动机诱发仅能够提高其正确率，且提高幅度小于未成瘾大学生。
[局限] 研究揭示了奖励动机和惩罚动机诱发对网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新功能的显著影响，未来可从时间角度纵向探究奖惩动机对于个体认知功能促进效果的保持时间。
[结论] 网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新功能受到损伤，且在认知任务中对惩罚较不敏感。

关键词：工作记忆刷新功能　网络游戏成瘾　奖励动机　惩罚动机　大学生
分类号：B842

Effects of reward and punishment motivation on working memory updating among Internet gaming disorder college students

GAO Yuanxia[1,2]　WANG Jiangyang[1]
[1](School of Education Science, Shenyang Normal University, Shenyang 110021, China)
[2](Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract:
[Objective] To investigate the effects of Internet gaming disorder(IGD) on college students' working memory updating, and the role of reward and punishment motivation in it.
[Methods] The study examined the effects of reward and punishment motivation on the working memory updating of IGD college students by manipulating monetary rewards and losses respectively in the N-back task.
[Results] The results showed that the working memory updating of IGD college students was weaker, i.e., longer reaction time and lower accuracy; the reward motivation was able to increase the processing level of IGD college students, while the punishment motivation was only able to increase the accuracy of IGD college students, which was smaller than that of non-IGD college students.
[Limitations] The study revealed that reward and punishment motivation had significant effects on the working memory updating of IGD college students, and in the future, we can longitudinally investigate the retention time of reward and punishment motivation on the cognitive functioning effect of individuals from a temporal perspective.
[Conclusion] The study found that IGD college students' working memory updating was impaired, and they were less sensitive to punishment in cognitive tasks.

Keywords　working memory updating　Internet gaming disorder　reward motivation　punishment motivation　college students

1 引言

在互联网技术高度发展的当今社会，网络游戏作为信息时代的产物已成为深受大众喜爱的娱乐活动。截止 2023 年 6 月，我国网络游戏用户达 5.50 亿，占网民整体 51.0%[1]。一方面，作为画面精美、趣味性强的休闲活动，网络游戏能够丰富生活；另一方面，网络游戏也存在着高吸引力、耗时和潜在成瘾性等问题，全球范围内的网络游戏成瘾人数逐年增多[2]。在不同年龄段成瘾群体中，大学生网络游戏成瘾的检出率较高，约为 14.8%[3]。现实生活中，那些陷入网络游戏而不能自拔的成瘾大学生往往伴随着学业表现不佳[4]，这究竟为何？研究表明，网络游戏成瘾能够引起神经生物学上的改变，使成瘾者大脑网络中涉及执行功能的脑区之间连接减少，进而出现工作记忆下降等认知问题[5]。工作记忆是完成学习活动的先决条件，是与学习成绩显著相关的指标[6]，这或许提示工作记忆受损可能是导致网络成瘾大学生学业表现不佳的一种直接原因。

工作记忆作为个体的一种高级的认知功能，是通过大脑在短时间内保存相应信息后，将其与脑内其它信息整合并共同用于指导个体后续行为的能力[7]。工作记忆不仅具有控制注意、调节情绪的功能，还能够影响个体的决策[8]。其中刷新功能作为工作记忆的中央执行系统子成分之一，是指通过不断地对工作记忆的内容进行修正，对呈现的新信息进行筛选，使个体及时更换信息、快速提取有效信息和脱离无效信息的能力[9]。其与工作记忆的联系最为密切，是用来代表工作记忆表现的有效指标[10]。因此，本研究将聚焦于网络游戏成瘾大学生的工作记忆刷新功能，分析其与未成瘾大学生的工作记忆刷新功能是否具有显著差异。

多项研究表明，网络游戏成瘾会损害个体的工作记忆刷新功能[11-12]。网络游戏成瘾者的认知功能相对较差，其工作记忆更容易在保留和刷新信息方面遇到困难且更容易分心；伴随着成瘾程度的加重，其执行功能水平可能会越来越低[13]。产生这种现象的原因是二者在神经生物学方面有共同的脑神经基础，包括前额叶皮层、丘脑、海马、杏仁核和腹侧纹状体等脑区[14-15]。网络游戏成瘾会通过改变个体以上脑区的体积与活动，进而对工作记忆及其刷新功能产生各种不良影响。基于以往研究证据，提出假设一：网络游戏成瘾大学生的工作记忆刷新表现与未成瘾大学生相比较差，即刷新速度慢于未成瘾大学生，刷新准确性低于未成瘾大学生。

动机-认知理论认为，动机广泛地影响包括工作记忆在内的许多认知过程，是认知的主要影响因素之一[16]。不同的动机状态能够改变认知控制进而对个体行为产生影响，其中主要通过提供奖励或惩罚刺激诱发出奖励或惩罚动机，以促进其在认知过程期间的准备和努力，进而增强认知能力[17]。目前已有研究表明，奖惩动机是有效促进工作记忆的影响因素，其中与奖励相关的刺激会吸引个体注意力且优先被工作记忆所加工[18]；与惩罚相关的刺激在统计学上与奖励刺激等效，甚至对认知处理的影响比奖励刺激更大[19]。然而还有研究发现，网络游戏成瘾者在游戏中存在奖惩敏感性失调的特点，即对奖励的敏感性增强和对惩罚的敏感性减弱[20]。由此可见，奖惩动机在网络游戏成瘾大学生的认知加工过程中发挥重要作用。

奖励动机诱发下，出于对奖励的渴望，个体会为此付出更多的努力[21]。在认知任务中，奖励动机通过吸引个体的注意力，增加与奖励相关刺激在工作记忆表征上的强度，从而提高工作记忆表现[22]。此外，奖励动机还可以通过增加认知控制来克服任务中的分心，减少工作记忆编码过程中干扰和衰退的负面影响[23]；以及通过分泌多巴胺来改变当前神经兴奋性等方法来增强个体的认知灵活性，调节工作记忆刷新功能阈值，促进记忆的巩固[24]。网络游戏成瘾者会更关注游戏中的奖励且对奖励更加敏感，说明其具有奖励敏感性增强的特点[25-26]；并表现出对即时奖励的偏好和积极寻求奖励行为的特征，如愿意冒险追求高奖励等[27]。此外，网络游戏成瘾者在涉及奖励动机的脑区内表现出较强的功能连接性，说明奖励动机能够有效激发其积极寻求奖励的行为[28]，故在工作记忆刷新任务中设置奖励动机能够提高网络游戏成瘾者的任务成绩。且网络游戏成瘾者对于奖励敏感性的增强主要体现在与游戏相关的刺激上，在认知任务中，奖励动机对其认知功能的促进程度与未成瘾者并无明显差别[29]。据此提出假设二：奖励动机诱发能够使网络

游戏成瘾和未成瘾大学生工作记忆刷新速度变慢的同时，提高工作记忆刷新准确性，且奖励动机对网络游戏成瘾和未成瘾大学生任务成绩的促进作用无显著差异。

惩罚动机诱发下，出于对损失的厌恶，个体会为避免惩罚而增强认知控制，抵抗认知任务中相关刺激的分心，采用反应性控制策略以提高认知任务中的准确性[30]，但不会提高速度[31]。尽管奖惩动机都能够促进认知表现，但二者之间也有差异。与追求奖励的动机相比，个体行为会更强烈地受到避免惩罚的动机驱动[32]。研究表明，奖励和惩罚动机诱发下的行为和大脑激活结果也不尽相同[33]。因此，需要分别对其进行研究，以分析奖励和惩罚动机诱发对个体认知功能造成的具体影响。在网络游戏成瘾者中，由于存在目标导向系统受损的特点，使其对惩罚和损失较不敏感[34]。网络游戏成瘾者会表现出对奖励的明显偏好，而忽略损失，并在任务中涉及金钱损失时表现出迟钝的神经活动[29]。与健康对照组相比，网络游戏成瘾组被试则表现出更低的执行控制，并且在损失处理期间表现出更小的皮层激活[35]。这些研究一致表明，对惩罚的敏感性降低可能是网络游戏成瘾者的核心特征之一，这也使得惩罚动机对其认知功能的促进作用弱于未成瘾者。据此提出假设三：在网络游戏成瘾和未成瘾大学生中，惩罚动机诱发能够提高其工作记忆刷新速度和准确性，且惩罚动机对网络游戏成瘾大学生任务成绩的促进作用小于未成瘾大学生。

综上，本研究采用行为实验的方法，探讨网络游戏成瘾与未成瘾大学生是否在工作记忆刷新功能上存在差异，以及奖励和惩罚两种动机的诱发能否对二者的工作记忆刷新功能产生影响。研究可揭示网络游戏成瘾对于工作记忆刷新功能的影响机制，为解释网络游戏成瘾大学生为何会出现学业不佳问题提供新视角，也为干预、改善该类大学生学业表现的实践工作提供可参考的建议。

2　实验一：奖励动机诱发对网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新功能的影响

2.1　被试

首先对研究所需的样本量进行评估，使用 MorePower 6.0.4 软件，选取重复测量方差分析的功效分析，通过设置 Alpha=0.05，Power=0.8，Eta^2=0.06，MSE=1，得出研究所需最小样本量应为 78 人。实际共有 87 名大学生被试参与实验(女性 24 人，男性 63 人)，可以满足研究所需。且所有被试均无影响实验的疾病史，近期均无睡眠及情绪问题(使用睡眠状况自评量表和抑郁-焦虑-压力量表来测量)。通过网络游戏成瘾量表得分将被试分为网络游戏成瘾组(42 人)和网络游戏未成瘾组(45 人)。被试平均年龄为 21.84±2.60 岁，实验开始前均签署知情同意书，并在实验结束后获得与任务完成情况相匹配数额的报酬。

2.2　工具

研究关于网络游戏成瘾的诊断依据主要结合了以往研究对网络游戏成瘾的诊断标准[36]。首先采用自编问题收集被试的网络游戏使用时间和游戏段位等个人基本特征，然后采用 Young[37]编制的网络成瘾量表(Internet Addiction Test，IAT)改编版筛选网络游戏成瘾组被试。已有研究通过将原始题目中的“网络”改成“网络游戏”形成网络游戏成瘾量表，能够有效识别和筛选网络游戏成瘾人群[38]。量表共 20 个项目，采用 5 级计分，满分为 100 分。当得分大于 50 分时可筛选为网络游戏成瘾组，得分处于 1-50 分时可筛选为网络游戏未成瘾组。本研究中该量表的 Cronbach’s α 系数为 0.93。采用该量表筛选出的网络游戏成瘾组被试平均得分是 58.93±5.75，为轻度成瘾。

2.3　实验设计

采用 2×2×3 混合实验设计。组间自变量为被试类型(网络游戏成瘾组、网络游戏未成瘾组)，组内自变量为奖励动机诱发(有、无)和记忆负荷(1-back, 2-back, 3-back)。因变量为工作记忆刷新功能，分别用刷新速度、刷新准确性和刷新表现三种指标表示。其中，刷新速度指标用反应时(单位：毫秒 ms)记录，刷新准确性指标用正确率(单位：百分比%)记录，刷新表现用计算速度-准确性权衡的逆效率得分(Inverse Efficiency Score, IES)记录。

2.4　实验程序

采用 Thurm 等人[39]开发的奖励 N-back 任务(见图 1)考察被试的工作记忆刷新功能，实验包括练习和正式实验。练习实验共 6 组，每组 40 秒；正式实验共 6 组，每组 4 分钟，实验材料为 0 到 9 的 10 个数字刺激。被试实验前将获得 10 元基础报酬，实验中需要执行 3 种记忆负荷下的奖励 N-back 任务，实验后的最终报酬根据任务得分进行动态调整。

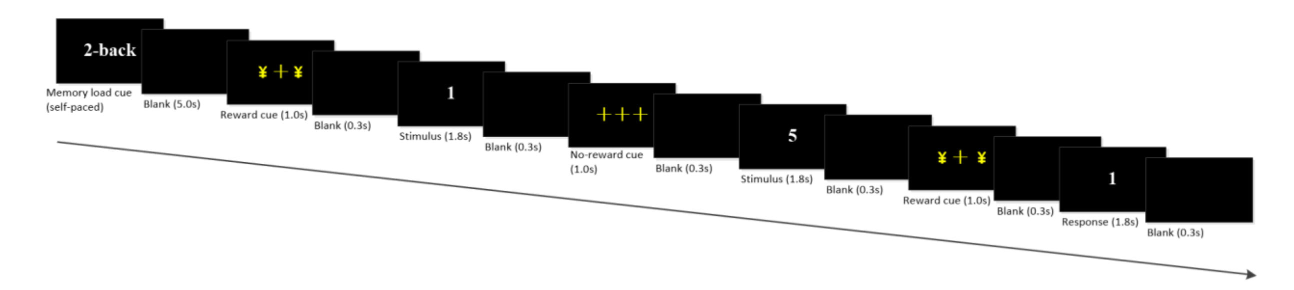


图 1　奖励 N-back 任务实验流程图

任务开始时，首先呈现难度线索，之后呈现 5 秒空屏，并随机出现奖励和无奖励提示。奖励提示“¥+¥”出现时，反应正确加 10 分，反应错误或未反应不加分。无奖励提示“+++”出现时，任何反应均不加分。最终积分将转化为额外的报酬，300 分为 1 元，最高为 10 元。为平衡顺序效应，采用了拉丁方设计排列不同记忆负荷的顺序。实验中所有奖励 N-back 任务在“是/否”反应试次中“是”的先验概率为 30%，在“有/无奖励”试次中“有奖励”的先验概率为 50%。

实验程序由 E-Prime2.0 编制并呈现，使用 SPSS 22.0 对数据进行统计分析。由于青年人平均视觉简单反应时大于 200ms，小于此数值说明被试进行了提前反应[40]。故先剔除反应时低于 200ms 的反应(剔除率为 1.80%)，再计算被试在奖励 N-back 任务中的反应时和正确率。

2.5　结果

(1) 实验分组有效性及无关变量干扰性检验

对来自被试个人特征的无关变量描述性统计结果见表 1。首先，为检验被试类型分组的有效性，对网络游戏成瘾组与未成瘾组被试的每日游戏时间和网络游戏成瘾分数做独立样本 t 检验。结果显示成瘾组被试的每日游戏时间(t=13.67，p<0.001，Cohen’s d=2.98)和网络游戏成瘾分数(t=27.13，p<0.001，Cohen’s d=5.82)显著高于网络游戏未成瘾组，说明实验分组有效。其次，为排除实验分组是否会受性别分布影响，对成瘾分组与被试的性别分布做卡方独立性检验，结果显示卡方值不显著(χ^2=1.54，p=0.214)，说明实验分组与性别分布无关。再次，在其它可能影响实验结果的无关变量上做独立样本 t 检验，结果显示网络游戏成瘾组与未成瘾组被试在年龄(t=-1.10)、睡眠质量(t=-0.17)、焦虑(t=1.93)、抑郁(t=1.86)和压力(t=1.72)上的得分均不存在显著差异(ps>0.05)，说明实验分组在其它无关变量上也同质而恒定的，可排除上述无关变量对实验结果造成干扰的可能。

表 1　来自被试个人特征量的描述性统计(M± SD)

个人特征变量	网络游戏成瘾组(n=42)	网络游戏未成瘾组(n=45)
年龄	21.52±2.37	22.13±2.78
每日游戏时间	5.06±1.94	0.78±0.61
网络游戏成瘾分数	58.93±5.75	24.78±5.98
睡眠质量	21.74±4.57	21.91±5.03
焦虑	3.38±2.95	2.29±2.31
抑郁	3.31±3.20	2.13±2.71
压力	4.43±3.66	3.29±2.43

（2）不同实验组被试在不同记忆负荷与奖励动机诱发下工作记忆刷新速度的差异

针对反应时的重复测量方差分析结果显示，被试类型主效应显著，$F(1, 85)=5.04$，$p=0.027$，$\eta_p^2=0.06$，成瘾组被试的反应时($M=780.73$，$SD=140.77$)显著长于未成瘾组($M=717.22$，$SD=123.09$)，这表明在奖励 N-back 任务中，网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新速度慢于未成瘾大学生。奖励动机主效应显著，$F(1, 85)=4.03$，$p=0.048$，$\eta_p^2=0.05$，被试在有奖励动机诱发时的反应时($M=750.21$，$SD=133.93$)显著长于无奖励动机诱发的反应时($M=745.55$，$SD=136.86$)，这表明与无奖励动机诱发相比，奖励动机诱发导致被试工作记忆刷新速度变慢。记忆负荷主效应显著，$F(2, 84)=237.19$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.74$，事后检验结果显示，1-back 负荷下的反应时($M=615.85$，$SD=123.62$)显著短于 2-back($M=759.33$，$SD=146.62$)和 3-back($M=868.47$，$SD=172.01$)，2-back 负荷下的反应时显著短于 3-back，这表明在奖励 N-back 任务中，随着记忆负荷的升高，被试工作记忆刷新速度逐渐变慢。

被试类型和奖励动机的交互作用[$F(1, 85)=0.02$，$p=0.878$]、被试类型和记忆负荷的交互作用[$F(2, 84)=1.00$，$p=0.354$]、记忆负荷和奖励动机的交互作用[$F(2, 84)=0.08$，$p=0.920$]、以及被试类型、记忆负荷和奖励动机的三次交互作用[$F(2, 84)=0.04$，$p=0.959$]均不显著。

（3）不同实验组被试在不同记忆负荷与奖励动机诱发下工作记忆刷新准确性的差异

针对正确率的重复测量方差分析结果显示，被试类型主效应显著，$F(1, 85)=11.81$，$p=0.001$，$\eta_p^2=0.12$，成瘾组被试($M=86.71$，$SD=6.26$)正确率显著低于未成瘾组($M=90.52$，$SD=3.92$)，这表明网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新准确性低于未成瘾大学生。奖励动机主效应显著，$F(1, 85)=36.98$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.30$，被试在有奖励动机诱发时的正确率($M=89.27$，$SD=5.53$)显著高于无奖励动机诱发($M=88.10$，$SD=5.64$)时，这表明与无奖励动机诱发相比，奖励动机诱发促进了被试工作记忆刷新准确性的提高。记忆负荷主效应显著，$F(2, 84)=308.47$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.78$，事后检验结果显示，1-back 负荷下的正确率($M=95.75$，$SD=3.43$)显著高于 2-back($M=90.24$，$SD=6.25$)和 3-back($M=80.11$，$SD=8.81$)，2-back 负荷下的正确率显著高于 3-back，这表明在奖励 N-back 任务中，随着记忆负荷的升高，被试工作记忆刷新准确性逐渐降低。

被试类型和奖励动机的交互作用[$F(1, 85)=0.06$，$p=0.803$]、以及被试类型、记忆负荷和奖励动机的三次交互作用[$F(2, 84)=1.40$，$p=0.250$]均不显著。但被试类型和记忆负荷的交互作用显著(见图 2)，$F(2, 84)=5.36$，$p=0.009$，$\eta_p^2=0.06$。简单效应分析发现，在三种不同记忆负荷任务中，网络游戏成瘾组被试的正确率均显著低于未成瘾组，$p_1=0.046$，$p_2=0.001$，$p_3=0.002$，且成瘾组与未成瘾组被试间正确率的差异在记忆负荷的升高中不断扩大(Cohen's $d_1=0.32$，Cohen's $d_2=0.71$，Cohen's $d_3=0.75$)。这表明被试类型对工作记忆刷新正确率的影响受记忆负荷高低的调节。随着记忆负荷的升高，网络游戏成瘾对工作记忆刷新准确性的负向作用越来越强。

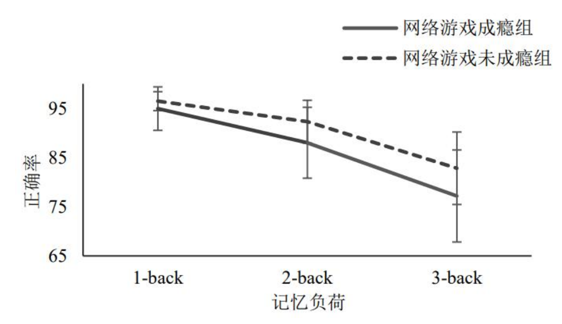


图 2　不同记忆负荷条件下不同实验组被试工作记忆刷新准确性比较（注：误差线为正负一个标准差，下同。）

记忆负荷和奖励动机的交互作用也显著(见图 3)，$F(2, 84)=6.15$，$p=0.005$，$\eta_p^2=0.07$。简单效应分析发现， 1-back 和 2-back 负荷中，有奖励动机诱发时的正确率显著高于无奖励动机诱发(Cohen's $d_1=0.50$，Cohen's $d_2=0.33$)，$ps<0.001$；3-back 负荷中，有奖励动机诱发与无奖励动机诱

发时的正确率无显著差异，p=0.335。这表明奖励动机诱发对工作记忆刷新正确率的影响也受记忆负荷高低的调节。在中低记忆负荷任务中，奖励动机诱发能够促进工作记忆刷新准确性的提高，且与低记忆负荷任务相比，中记忆负荷任务中奖励动机诱发对工作记忆刷新准确性的促进作用变弱；而在高记忆负荷任务中，这种促进作用不再明显。

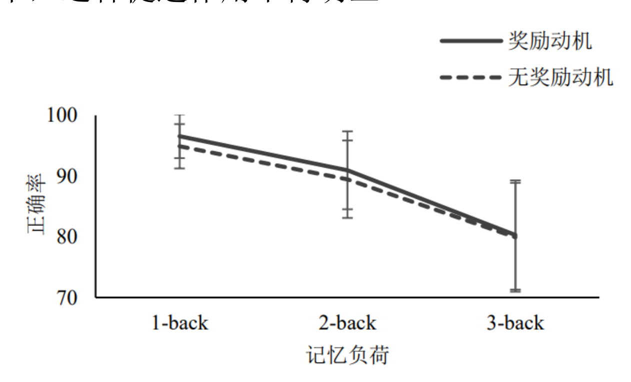


图 3　不同记忆负荷条件下有无奖励动机诱发时工作记忆刷新准确性比较

（4）不同实验组被试在不同记忆负荷与奖励动机诱发下工作记忆刷新表现的差异

综合反应时和正确率的结果可以发现，个体在工作记忆刷新任务中存在速度-准确率权衡，即奖励动机诱发下，个体的反应时长于无奖励动机诱发，正确率高于无奖励诱发。据此，通过反应时除以正确率进行逆效率得分的计算[41]，以分析被试的工作记忆刷新表现。

针对逆效率得分的重复测量方差分析结果显示，被试类型主效应显著，$F(1, 85)=12.00$，$p=0.001$，$\eta_p^2=0.12$，成瘾组被试的加工程度(M=887.17，SD=78.64)显著弱于未成瘾组(M=839.84，SD=45.53)，这表明在奖励 N-back 任务中，网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新表现差于未成瘾大学生。奖励动机主效应显著，$F(1, 85)=4.48$，$p=0.037$，$\eta_p^2=0.05$，被试在有奖励动机诱发时的加工程度(M=860.30，SD=67.48)显著强于无奖励动机诱发(M=865.09，SD=69.40)时，这表明与无奖励动机诱发相比，奖励动机诱发促进了被试工作记忆刷新表现的提高。记忆负荷主效应显著，$F(2, 84)=1148.16$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.93$，事后检验结果显示，1-back 负荷下的加工程度(M=643.90，SD=26.13)显著强于 2-back(M=845.78，SD=64.22)和 3-back(M=1098.40，SD=131.96)，2-back 负荷下的加工程度显著强于 3-back，这表明在奖励 N-back 任务中，随着记忆负荷的升高，被试工作记忆刷新表现逐渐变差。

被试类型和奖励动机的交互作用[$F(1, 85)<0.01$，$p=0.996$]、记忆负荷和奖励动机的交互作用[$F(2, 84)=1.19$，$p=0.292$]、以及被试类型、记忆负荷和奖励动机的三次交互作用[$F(2, 84)=1.12$，$p=0.309$]均不显著。但被试类型和记忆负荷的交互作用显著(见图 4a)，$F(2, 84)=7.57$，$p=0.004$，$\eta_p^2=0.08$。简单效应分析发现，在三种记忆负荷任务中，成瘾组被试的加工程度均显著弱于未成瘾组，$p_1=0.043$，$p_2=0.001$，$p_3=0.002$，但 1-back 负荷中，成瘾组与未成瘾组被试的加工程度差异最小(Cohen’s d=0.46)，其次是 3-back(Cohen’s d=0.68)，最后是 2-back(Cohen’s d=0.74)。这表明被试类型对工作记忆刷新表现的影响受记忆负荷高低的调节，网络游戏成瘾对工作记忆刷新表现的负向作用在中等记忆负荷任务中最为显著。

3　实验二：惩罚动机诱发对网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新功能的影响

3.1　被试

实验被试与实验一相同，为了避免疲劳效应，被试在完成奖励 N-back 任务的后一至两周参加惩罚 N-back 任务，即实验二与实验一间隔一至两周进行。

3.2　工具

实验工具与实验一相同。由于此前的量表具有一周及以上的时效性，所以在此次实验时没有

进行二次施测，而是通过访谈来询问被试近一至两周内有无出现特殊状况。

3.3 实验设计

采用 2×2×3 混合实验设计。组间自变量为被试类型(网络游戏成瘾组、网络游戏未成瘾组)，组内自变量为惩罚动机诱发(有、无)和记忆负荷(1-back, 2-back, 3-back)。因变量及其计分方法同实验一。

3.4 实验程序

采用与奖励 N-back 任务对应的惩罚 N-back 任务(见图 4)，实验包括练习和正式实验。练习实验共 3 组，每组 40 秒；正式实验共 6 组，每组 4 分钟，实验材料为 0 到 9 的 10 个数字刺激。被试实验前将获得 15 元基础报酬，实验中需要执行 3 种记忆负荷下的惩罚 N-back 任务，实验后的最终报酬根据任务得分进行动态调整。

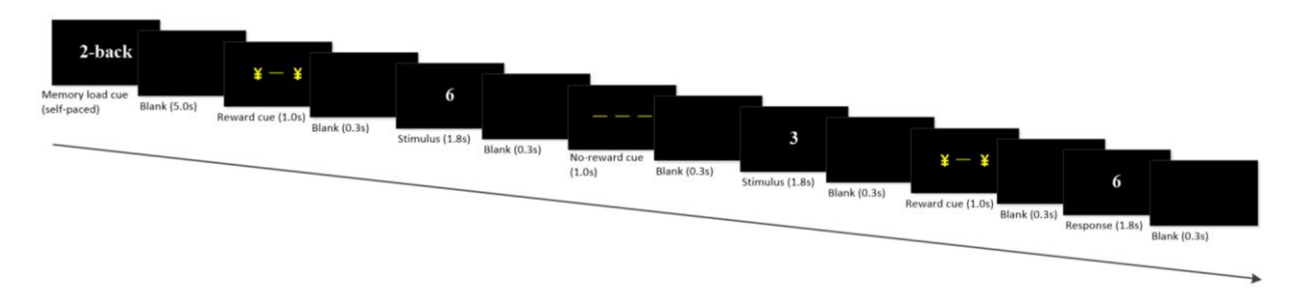


图 4 惩罚 N-back 任务实验流程图

任务开始时，首先呈现难度线索，之后呈现 5 秒空屏，并随机出现惩罚和无惩罚提示。惩罚提示“¥—¥”出现时，反应错误或未反应扣 10 分，反应正确不扣分。无惩罚提示“— — —”出现时，任何反应均不扣分。最终扣除的积分将转化为报酬进行扣除，300 分为 1 元，最高为 10 元。为平衡顺序效应，采用了拉丁方设计排列不同记忆负荷的顺序。实验中所有惩罚 N-back 任务在“是/否”反应试次中“是”的先验概率为 30%，在“有/无惩罚”试次中“有惩罚”的先验概率为 50%。

实验程序由 E-Prime 2.0 编制并呈现，使用 SPSS 22.0 对数据进行统计分析。对于全部数据，先剔除反应时低于 200ms 的反应(剔除率为 1.39%)，再计算被试在惩罚 N-back 任务中的反应时和正确率。

3.5 结果

（1）不同实验组被试在不同记忆负荷与惩罚动机诱发下工作记忆刷新速度的差异

针对反应时的重复测量方差分析结果显示，被试类型主效应显著，$F(1, 85)=5.80$，$p=0.018$，$\eta_p^2=0.06$，成瘾组被试的反应时($M=778.83$，$SD=112.92$)显著长于未成瘾组($M=715.13$，$SD=132.14$)，这表明在惩罚 N-back 任务中，网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新速度慢于网络游戏未成瘾大学生。记忆负荷主效应显著，$F(2, 84)=221.33$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.72$，事后检验结果显示，1-back 负荷下的反应时($M=614.15$，$SD=122.03$)显著短于 2-back($M=756.89$，$SD=141.76$)和 3-back($M=866.62$，$SD=160.08$)，2-back 负荷下的反应时显著短于 3-back，这表明在惩罚 N-back 任务中，随着记忆负荷的升高，被试工作记忆刷新速度逐渐变慢。

惩罚动机主效应[$F(1, 85)=2.32$，$p=0.131$]、被试类型和惩罚动机的交互作用[$F(1, 85)=0.56$，$p=0.456$]、被试类型和记忆负荷的交互作用[$F(2, 84)=0.72$，$p=0.449$]、记忆负荷和惩罚动机的交互作用[$F(2, 84)=0.08$，$p=0.924$]、以及被试类型、记忆负荷和惩罚动机的三次交互作用[$F(2, 84)=0.04$，$p=0.951$]均不显著。

（2）不同实验组被试在不同记忆负荷与惩罚动机诱发下工作记忆刷新准确性的差异

针对正确率的重复测量方差分析结果显示，被试类型主效应显著，$F(1, 85)=22.75$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.21$，成瘾组被试的正确率($M=84.65$，$SD=6.51$)显著低于未成瘾组($M=90.43$，$SD=4.70$)，这

表明在惩罚 N-back 任务中，网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新准确性低于网络游戏未成瘾大学生。惩罚动机主效应显著，$F(1, 85)=26.31$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.24$，被试在有惩罚动机诱发时的正确率($M=88.16$，$SD=6.53$)显著高于无惩罚动机诱发($M=87.11$，$SD=6.25$)，这表明与无惩罚动机诱发相比，惩罚动机诱发促进了被试工作记忆刷新准确性的提高。记忆负荷主效应显著，$F(2, 84)=311.36$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.79$，事后检验结果显示，1-back 负荷下的正确率($M=95.41$，$SD=3.41$)显著高于 2-back($M=88.72$，$SD=7.18$)和 3-back($M=78.80$，$SD=10.02$)，2-back 负荷下的正确率显著高于 3-back，这表明在惩罚 N-back 任务中，随着记忆负荷的升高，被试工作记刷准确性逐渐降低。

被试类型和惩罚动机的交互作用显著(见图 5)，$F(1, 85)=4.25$，$p=0.042$，$\eta_p^2=0.05$。简单效应分析发现，不同被试类型中，有惩罚动机诱发时的正确率显著高于无惩罚动机诱发，$p_1=0.025$，$p_2<0.001$，但成瘾组被试在有惩罚动机诱发和无惩罚动机诱发时的正确率差异小于网络游戏未成瘾组(Cohen's $d_1=0.14$，Cohen's $d_2=0.20$)。这表明惩罚动机诱发对工作记忆刷新正确率的影响受不同被试类型的调节与网络游戏未成瘾大学生相比，网络游戏成瘾大学生中惩罚动机诱发对工作记忆刷新准确性的促进作用更弱。

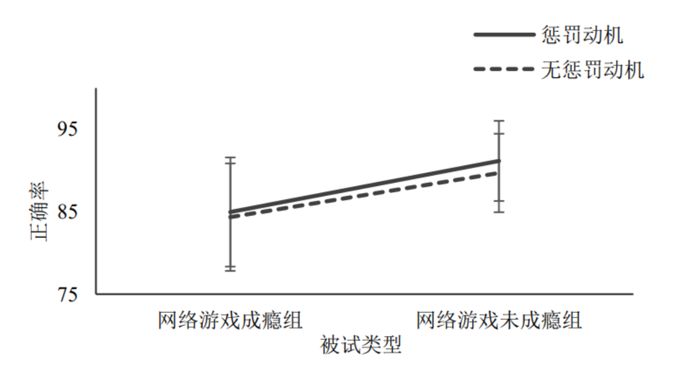


图 5　不同实验组被试有无惩罚动机诱发时工作记忆刷新准确性比较

被试类型和记忆负荷的交互作用显著(见图 6)，$F(2, 84)=10.07$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.11$。简单效应分析发现，在三种不同记忆负荷任务中，网络游戏成瘾组被试的正确率均显著低于未成瘾组，$ps<0.001$，但 2-back 负荷中，成瘾组与未成瘾组被试的加工程度差异最小(Cohen's $d=0.77$)，其次是 1-back(Cohen's $d=0.95$)，最后是 3-back(Cohen's $d=0.99$)。这表明被试类型对工作记忆刷新表现的影响受记忆负荷高低的调节，网络游戏成瘾对工作记忆刷新准确性的负向作用在高记忆负荷任务中最为显著。

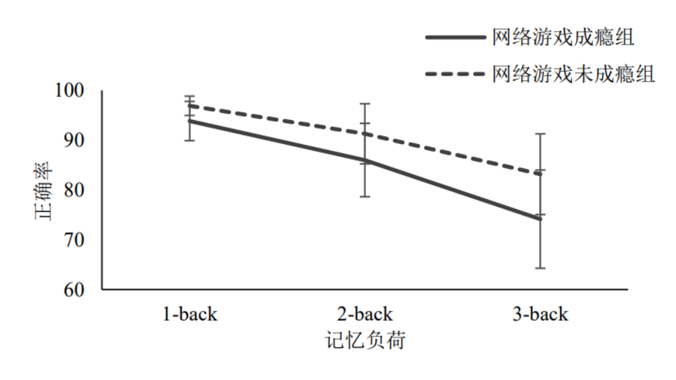


图 6　不同记忆负荷条件下不同实验组被试工作记忆刷新准确性比较

记忆负荷和惩罚动机的交互作用显著(见图 7)，$F(2, 84)=4.14$，$p=0.021$，$\eta_p^2=0.05$。简单效应分析发现， 1-back 和 2-back 负荷中，有惩罚动机诱发时的正确率显著高于无惩罚动机诱发

(Cohen's d_1=0.25，Cohen's d_2=0.13)，p_1<0.001，p_2=0.002；3-back 负荷中，有惩罚动机诱发与无惩罚动机诱发时的正确率无显著差异，*p*=0.187。这表明，惩罚动机诱发对工作记忆刷新正确率的影响受记忆负荷高低的调节。在中低记忆负荷任务中，惩罚动机诱发能够促进工作记忆刷新准确性的提高，与低记忆负荷任务相比，中记忆负荷任务中惩罚动机诱发对工作记忆刷新准确性的促进作用变弱；而在高记忆负荷任务中，这种促进作用不再明显。此外，被试类型、记忆负荷和惩罚动机的三次交互作用不显著，$F(2, 84)=0.80$，$p=0.442$。

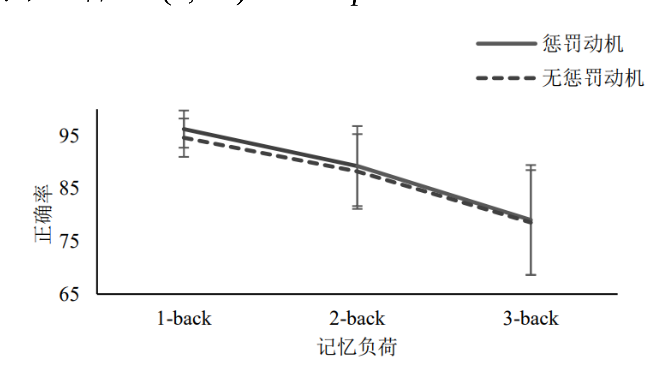


图 7　不同记忆负荷条件下有无惩罚动机诱发时工作记忆刷新准确性比较

（3）不同实验组被试在不同记忆负荷与奖惩动机诱发下工作记忆刷新表现的差异

综合反应时和正确率的结果可以发现，个体在工作记忆刷新任务中存在速度-准确率权衡，即奖励动机诱发下，个体的反应时长于无奖励动机诱发，正确率高于无奖励诱发。据此，通过反应时除以正确率进行逆效率得分的计算[41]，以分析被试的工作记忆刷新表现。

针对实验一中有无奖励动机诱发下被试逆效率得分的重复测量方差分析结果显示，被试类型主效应显著，$F(1, 85)=12.00$，$p=0.001$，$\eta_p^2=0.12$，成瘾组被试的加工程度(*M*=887.17，*SD*=78.64)显著弱于未成瘾组(*M*=839.84，*SD*=45.53)，这表明在奖励 N-back 任务中，网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新表现差于未成瘾大学生。奖励动机主效应显著，$F(1, 85)=4.48$，$p=0.037$，$\eta_p^2=0.05$，被试在有奖励动机诱发时的加工程度(*M*=860.30，*SD*=67.48)显著强于无奖励动机诱发(*M*=865.09，*SD*=69.40)时，这表明与无奖励动机诱发相比，奖励动机诱发促进了被试工作记忆刷新表现的提高。记忆负荷主效应显著，$F(2, 84)=1148.16$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.93$，事后检验结果显示，1-back 负荷下的加工程度(*M*=643.90，*SD*=26.13)显著强于 2-back(*M*=845.78，*SD*=64.22)和3-back(*M*=1098.40，*SD*=131.96)，2-back 负荷下的加工程度显著强于 3-back，这表明在奖励 N-back 任务中，随着记忆负荷的升高，被试工作记忆刷新表现逐渐变差。

被试类型和奖励动机的交互作用[$F(1, 85)<0.01$，$p=0.996$]、记忆负荷和奖励动机的交互作用[$F(2, 84)=1.19$，$p=0.292$]、以及被试类型、记忆负荷和奖励动机的三次交互作用[$F(2, 84)=1.12$，$p=0.309$]均不显著。但被试类型和记忆负荷的交互作用显著(见图 8a)，$F(2, 84)=7.57$，$p=0.004$，$\eta_p^2=0.08$。简单效应分析发现，在三种记忆负荷任务中，成瘾组被试的加工程度均显著弱于未成瘾组，p_1=0.043，p_2=0.001，p_3=0.002，但 1-back 负荷中，成瘾组与未成瘾组被试的加工程度差异最小(Cohen's *d*=0.46)，其次是 3-back(Cohen's *d*=0.68)，最后是 2-back(Cohen's *d*=0.74)。这表明被试类型对工作记忆刷新表现的影响受记忆负荷高低的调节，网络游戏成瘾对工作记忆刷新表现的负向作用在中等记忆负荷任务中最为显著。

针对实验二中有无惩罚动机诱发下被试逆效率得分的重复测量方差分析结果显示，被试类型主效应显著，$F(1, 85)=21.66$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.20$，成瘾组被试的加工程度(*M*=910.89，*SD*=86.56)显著弱于未成瘾组(*M*=839.73，*SD*=53.17)，这表明在惩罚 N-back 任务中，网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新表现差于网络游戏未成瘾大学生。记忆负荷主效应显著，$F(2, 84)=1007.76$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.92$，事后检验结果显示，1-back 负荷下的加工程度(*M*=644.09，*SD*=24.51)显著强于

2-back(*M*=859.02，*SD*=76.54)和 3-back(*M*=1119.14，*SD*=154.92)，2-back 负荷下的加工程度显著强于 3-back，这表明在奖励 N-back 任务中，随着记忆负荷的升高，被试工作记忆刷新表现逐渐变差。

惩罚动机主效应[$F(1, 85)=2.28$，$p=0.135$]、被试类型和惩罚动机的交互作用[$F(1, 85)=2.98$，$p=0.088$]、记忆负荷和惩罚动机的交互作用[$F(2, 84)=0.54$，$p=0.529$]、以及被试类型、记忆负荷和惩罚动机的三次交互作用[$F(2, 84)=1.53$，$p=0.223$]均不显著。但被试类型和记忆负荷的交互作用显著(见图 8b)，$F(2, 84)=16.05$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.16$。简单效应分析发现，在三种记忆负荷任务中，成瘾组被试的加工程度均显著弱于未成瘾组，$p_1<0.001$，$p_2=0.001$，$p_3<0.001$，但 2-back 负荷中，成瘾组与未成瘾组被试的加工程度差异最小(Cohen's $d=0.74$)，其次是 1-back(Cohen's $d=0.98$)，最后是 3-back(Cohen's $d=0.99$)。这表明被试类型对工作记忆刷新表现的影响受记忆负荷高低的调节，网络游戏成瘾对工作记忆刷新表现的负向作用在高记忆负荷任务中最为显著。

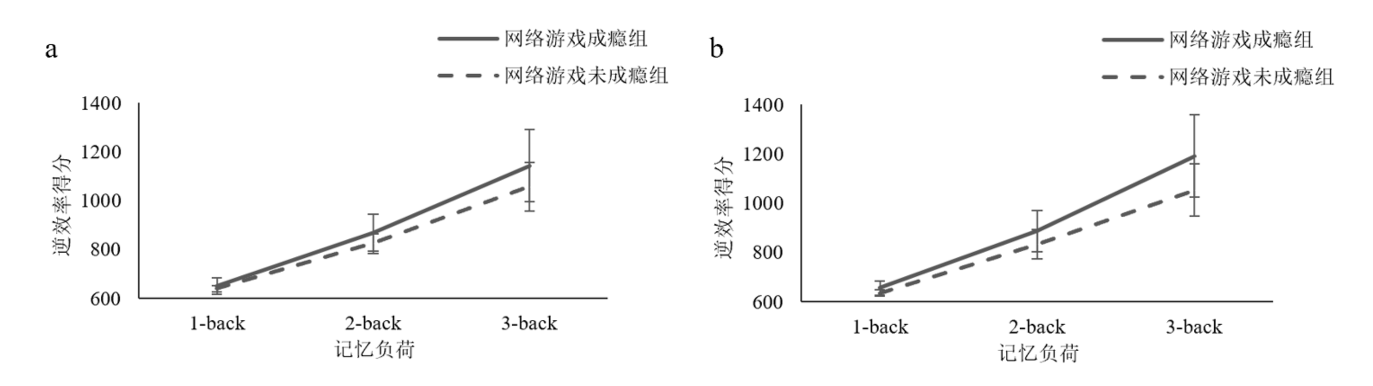


图 8　不同记忆负荷条件下不同实验组被试工作记忆刷新表现比较
(a. 为有无奖励动机条件，b. 为有无惩罚动机条件)

为了解奖惩动机下被试是否存在工作记忆刷新表现的差异，对不同实验组被试在奖惩罚动机诱发下的工作记忆刷新表现进行重复测量方差分析，结果显示，被试类型主效应显著，$F(1, 85)=18.57$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.18$，成瘾组被试的加工程度(*M*=897.96，*SD*=84.30)显著弱于未成瘾组(*M*=836.68，*SD*=50.22)，这表明无论是在奖励 N-back 任务还是在惩罚 N-back 任务中，网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新表现均差于网络游戏未成瘾大学生。奖惩动机主效应显著，$F(1, 85)=10.73$，$p=0.002$，$\eta_p^2=0.11$，被试在有奖励动机诱发时的加工程度(*M*=860.30，*SD*=67.48)显著弱于惩罚动机诱发(*M*=872.23，*SD*=82.10)，这表明与奖励动机诱发相比，惩罚动机诱发促进了被试工作记忆刷新表现的提高。奖惩动机与被试类型的交互作用显著(见图 9)，$F(1, 85)=13.55$，$p<0.001$，$\eta_p^2=0.14$。简单效应分析发现，在网络游戏成瘾组中，被试在奖励动机诱发下的加工程度显著强于惩罚动机诱发(Cohen's $d=0.32$)，$p<0.001$；在网络游戏未成瘾组中，被试在奖励动机诱发和惩罚动机诱发下的加工程度无显著差异，$p=0.759$。

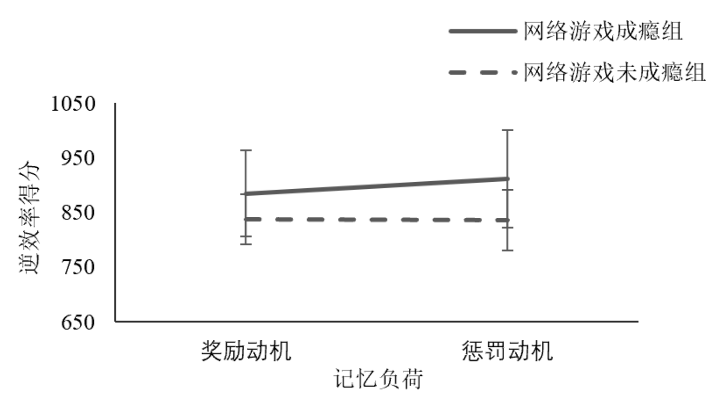


图 9　奖惩动机诱发时不同实验组被试工作记忆刷新表现比较

4　讨论

4.1　网络游戏成瘾大学生的工作记忆刷新功能受损

研究通过两项实验，证明了网络游戏成瘾对大学生工作记忆刷新功能具有负面影响。参与实验的网络游戏成瘾大学生仅处于轻度游戏成瘾水平，但其工作记忆刷新表现仍明显差于未成瘾大学生，具体表现为工作记忆刷新速度较长和刷新准确性较低。说明网络游戏成瘾损害了大学生的工作记忆刷新功能。以往研究发现，网络游戏成瘾会损伤成瘾者的认知功能，通过损伤前额叶皮层和丘脑等脑区来改变其与工作记忆刷新功能相关的脑神经结构，进而导致成瘾者的工作记忆刷新功能受损[42]。而这种工作记忆刷新功能受损可能正是网络游戏成瘾大学生学习成绩不佳的前因之一。此外，由于两个实验中均设置了不同的记忆负荷，需要被试在不同任务间进行任务转换[43]。而成瘾者在转换任务中需要投入与未成瘾者相比更多的执行控制和注意力[44]，这也可能是网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新速度偏慢和工作记忆刷新准确性偏低的另一个原因。

4.2　奖惩动机诱发对网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新功能的影响

（1）奖励动机诱发对网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新速度和准确性均具有促进作用

实验一发现，与无奖励动机诱发相比，奖励动机诱发虽然导致网络游戏成瘾和未成瘾大学生工作记忆刷新速度变慢，但却提高了工作记忆刷新准确性，说明了奖励动机诱发对工作记忆刷新功能具有正向影响，也证明了实验中以金钱奖励为刺激进行的奖励动机诱发是有效的。以往研究指出，奖励动机诱发能够在记忆等认知任务中减少干扰效应，增强被试的主动注意控制，并通过在检索刺激时进行速度-准确性权衡来提高记忆效果[45-46]。本研究也得到了相同的结果，即在奖励动机诱发时，网络游戏成瘾和未成瘾大学生的工作记忆刷新速度变慢，工作记忆刷新准确性提高，说明被试在任务中进行了速度-准确性权衡，即为提高工作记忆刷新准确性而使工作记忆刷新速度变慢的做法。且奖励动机诱发对于网络游戏成瘾和未成瘾大学生工作记忆刷新准确性的促进作用是大于速度的，因而奖励动机诱发在减慢工作记忆刷新速度和提高工作记忆刷新准确性的同时，增强了个体的工作记忆刷新表现。此外，奖励动机诱发对工作记忆刷新功能的促进作用在网络游戏成瘾和未成瘾大学生之间不具有显著差异，说明网络游戏成瘾者对游戏中奖励刺激的敏感既不会扩展到认知任务中，也不会对于认知任务中的奖励视而不见。在认知任务及日常生活中，当网络游戏成瘾大学生面对普通的奖励时，其敏感程度可能与未成瘾者并无显著差异。

（2）惩罚动机诱发仅对网络游戏成瘾大学生工作记忆刷新准确性具有促进作用

实验二发现，惩罚动机诱发能够提高网络游戏成瘾和未成瘾大学生的工作记忆刷新准确性，但却没有改变二者的工作记忆刷新速度和刷新表现，证明了惩罚动机诱发仅对工作记忆刷新准确性具有促进作用。以往研究也指出，当进行惩罚动机诱发时，被试对于损失的厌恶会使其在工作记忆任务过程中的行为表现更准确[32]。与此同时，被试会采用反应性控制策略以有效地提高任务的准确性，而不会降低任务速度[31]。尽管适度的惩罚动机诱发对认知功能有促进作用，但对

于惩罚敏感性减弱的成瘾者而言，其在收到负面反馈后并从错误中学习的能力较差，在涉及惩罚动机诱发的认知任务中，其任务成绩也普遍较低[47-48]。因而工作记忆任务中的惩罚动机诱发对网络游戏成瘾大学生刷新准确性的促进作用更弱。以往研究指出，与未成瘾者相比，网络游戏成瘾者具有惩罚敏感性减弱的特点[49]，其在惩罚动机诱发时可能会因对惩罚不够敏感而无法准确评估风险结果[50](Zhang et al., 2020)。所以在利用奖惩动机诱发对网络游戏成瘾大学生进行工作记忆刷新功能干预和训练时，最好选择奖励动机诱发而非惩罚动机诱发，以便更好地发挥动机诱发的积极作用。

4.3 记忆负荷对工作记忆刷新准确性影响机制的调节作用

本研究发现，记忆负荷能够调节网络游戏成瘾和奖惩动机诱发对工作记忆刷新准确性的影响。在高记忆负荷任务中，网络游戏成瘾对工作记忆刷新准确性的负向作用最强；且随着记忆负荷升高，奖惩动机诱发对工作记忆刷新准确性的促进作用减弱，且在高记忆负荷任务中无法产生促进作用。一方面，高记忆负荷任务意味着需要个体运用更多的工作记忆刷新功能，但由于网络游戏成瘾大学生的工作记忆刷新功能受损，高记忆负荷任务就更加凸显了网络游戏成瘾对工作记忆刷新准确性的负向作用，从而降低其工作记忆刷新表现。另一方面，记忆负荷可以调节认知资源[51](Xu et al., 2022)。记忆负荷较低时，奖惩动机诱发能够使个体增加注意，促进刷新；而记忆负荷较高时，奖惩动机诱发的促进作用将趋于饱和，并部分与任务需要的高注意和努力相抵消[39]，从而使奖惩动机无法发挥作用。这启示我们在理解网络游戏成瘾大学生的学习问题时，不仅要关注奖惩动机的作用效果，还应对学习任务本身特点予以了解。

5 结论

（1）网络游戏成瘾对工作记忆刷新功能具有负面影响，即使是处于轻度成瘾水平的网络游戏成瘾大学生，其工作记忆刷新速度和准确性仍明显低于未成瘾大学生。

（2）奖惩动机诱发对工作记忆刷新功能均具有正向影响。其中，奖励动机诱发通过提高准确性和减慢速度的方式对网络游戏成瘾和未成瘾大学生的工作记忆刷新表现产生同等程度促进作用；而惩罚动机诱发仅能够提高网络游戏成瘾和未成瘾大学生的工作记忆刷新准确性，且这种促进作用在网络游戏成瘾大学生中更弱。

参考文献

[1] 中国互联网络信息中心．第 52 次中国互联网络发展状况统计报告[EB/OL]．[2023-08-28]. https://www.cnnic.cn/n4/2023/0828/c88-10829.html. (China Internet Network Information Center. The 52nd Statistical Report on the Development of China’s Internet Network[EB/OL]. [2023-08-28]. https://www.cnnic.cn/n4/2023/0828/c88-10829.html.)

[2] Gao Y X, Wang J Y, Dong G H. The Prevalence and Possible Risk Factors of Internet Gaming Disorder Among Adolescents and Young Adults: Systematic Reviews and Meta-Analyses[J]. *Journal of Psychiatric Research*, 2022, 154:35-43.

[3] Zhang M X, Wang X, Yu S M, Wu A. Purpose in Life, Social Support, and Internet Gaming Disorder Among Chinese University Students: A 1-Year Follow-Up Study[J]. *Addictive Behaviors*, 2019, 99:106070.

[4] Hawi N S, Samaha M, Griffiths M D. Internet Gaming Disorder in Lebanon: Relationships With Age, Sleep Habits, and Academic Achievement[J]. *Journal of Behavioral Addictions*, 2018, 7(1):70-78.

[5] Weinstein A, Lejoyeux M. Neurobiological Mechanisms Underlying Internet Gaming Disorder[J]. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 2020, 22(2):113-126.

[6] Guitard D, Saint-Aubin J, Cowan N. Grouping Effects in Immediate Reconstruction of Order and the Preconditions for Long-Term Learning[J]. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2022, 75(1):70-97.

[7] Garofalo S, Battaglia S, di Pellegrino G. Individual Differences in Working Memory Capacity and Cue-Guided Behavior in Humans[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1):7327.
[8] King M J, Macnamara B N. Three Visual Working Memory Representations Simultaneously Control Attention[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1):10504.
[9] Cowan N. The Many Faces of Working Memory and Short-Term Storage[J]. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2017, 24(4):1158-1170.
[10] Nir-Cohen G, Kessler Y, Egner T. Neural Substrates of Working Memory Updating[J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2020, 32(12):2285-2302.
[11] Ngetich R, Burleigh T L, Czakó A, Vékony T, Németh D, Demetrovics Z. Working Memory Performance in Disordered Gambling and Gaming: A Systematic Review[J]. *Comprehensive Psychiatry*, 2023, 126:152408.
[12] Shin Y B, Kim H, Kim S J, Kim J J. A Neural Mechanism of the Relationship Between Impulsivity and Emotion Dysregulation in Patients With Internet Gaming Disorder[J]. *Addiction Biology*, 2021, 26(3):e12916.
[13] Zhang J T, Ma S S, Yan C G, Zhang S, Liu L, Wang L J, … Fang X Y. Altered Coupling of Default-Mode, Executive-Control and Salience Networks in Internet Gaming Disorder[J]. *European Psychiatry: The Journal of the Association of European Psychiatrists*, 2017, 45:114-120.
[14] Kuss D J, Pontes H M, Griffiths M D. Neurobiological Correlates in Internet Gaming Disorder: A Systematic Literature Review[J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2018, 9:166.
[15] Zhou W, Zheng H, Wang M, Zheng Y, Chen S, Wang M J, Dong G H. The Imbalance Between Goal-Directed and Habitual Systems in Internet Gaming Disorder: Results From the Disturbed Thalamocortical Communications[J]. *Journal of Psychiatric Research*, 2021, 134:121-128.
[16] Schunk D H, DiBenedetto M K. Motivation and Social Cognitive Theory[J]. *Contemporary Educational Psychology*, 2020, 60:101832.
[17] Yee D M, Braver T S. Interactions of Motivation and Cognitive Control[J]. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 2018, 19:83-90.
[18] Ward R T, Miskovich T A, Stout D M, Bennett K P, Lotfi S, Larson C L. Reward-Related Distracters and Working Memory Filtering[J]. *Psychophysiology*, 2019, 56(10):e13402.
[19] Ballard T, Sewell D K, Cosgrove D, Neal A. Information Processing Under Reward Versus Under Punishment[J]. *Psychological Science*, 2019, *30*(5):757-764.
[20] Vargas T, Maloney J, Gupta T, Damme K S F, Kelley N J, Mittal V A. Measuring Facets of Reward Sensitivity, Inhibition, and Impulse Control in Individuals With Problematic Internet Use[J]. *Psychiatry Research*, 2019, 275:351-358.
[21] Grogan J P, Sandhu T R, Hu M T, Manohar S G. Dopamine Promotes Instrumental Motivation, But Reduces Reward-Related Vigour[J]. *Elife*, 2020, 9:e58321.
[22] De Tommaso M, Turatto M. Testing Reward-Cue Attentional Salience: Attainment and Dynamic Changes[J]. *British Journal of Psychology*, 2022, 113(2):396-411.
[23] Klink P C, Jeurissen D, Theeuwes J, Denys D, Roelfsema P R. Working Memory Accuracy for Multiple Targets is Driven by Reward Expectation and Stimulus Contrast With Different Time-Courses[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1):9082.
[24] Murayama K, Kitagami S. Consolidation Power of Extrinsic Rewards: Reward Cues Enhance Long-Term Memory for Irrelevant Past Events[J]. *Journal of Experimental Psychology: General*, 2014, 143(1):15-20.
[25] Dong G, Wang Z, Wang Y, Du X, Potenza M N. Gender-Related Functional Connectivity and Craving During Gaming and Immediate Abstinence During a Mandatory Break: Implications for Development and Progression of Internet Gaming Disorder[J]. *Progress in Neuro-Psychopharmacology & Biological Psychiatry*, 2019, 88:1-10.

[26] Wang L, Yang G, Zheng Y, Li Z, Qi Y, Li Q, Liu X. Enhanced Neural Responses in Specific Phases of Reward Processing in Individuals With Internet Gaming Disorder[J]. *Journal of Behavioral Addictions*, 2021, 10(1):99-111.

[27] Wölfling K, Duven E, Wejbera M, Beutel M E, Müller K W. Discounting Delayed Monetary Rewards and Decision Making in Behavioral Addictions: A Comparison Between Patients With Gambling Disorder and Internet Gaming Disorder[J]. *Addictive Behaviors*, 2020, 108:106446.

[28] Berke J D. What Does Dopamine Mean? *Nature Neuroscience*, 2018, 21(6):787-793.

[29] Yao Y W, Liu L, Worhunsky P D, Lichenstein S, Ma S S, Zhu L, … Yip S W. Is Monetary Reward Processing Altered in Drug-Naïve Youth With a Behavioral Addiction? Findings From Internet Gaming Disorder[J]. *Neuroimage Clinical*, 2020, 26:102202.

[30] Grégoire L, Britton M K, Anderson B A. Motivated Suppression of Value- and Threat- Modulated Attentional Capture[J]. *Emotion*, 2022, 22(4):780-794.

[31] Cubillo A, Makwana A B, Hare T A. Differential Modulation of Cognitive Control Networks by Monetary Reward and Punishment[J]. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2019, 14(3):305-317.

[32] Massar S A A, Pu Z, Chen C, Chee M W L. Losses Motivate Cognitive Effort More Than Gains in Effort-Based Decision Making and Performance[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2020, 14:287.

[33] Krawczyk D C, D'Esposito M. Modulation of Working Memory Function by Motivation Through Loss-Aversion[J]. *Human Brain Mapping*, 2013, 34(4):762-774.

[34] Weinstein A M. An Update Overview on Brain Imaging Studies of Internet Gaming Disorder[J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2017, 8:185.

[35] Dong G, Li H, Wang L, Potenza M N. Cognitive Control and Reward/Loss Processing in Internet Gaming Disorder: Results From a Comparison With Recreational Internet Game-Users[J]. *European Psychiatry: The Journal of the Association of European Psychiatrists*, 2017, 44:30-38.

[36] Zhang Y, Lin X, Zhou H, Xu J, Du X, Dong G H. Brain Activity Toward Gaming-Related Cues in Internet Gaming Disorder During an Addiction Stroop Task[J]. *Frontiers in Psychology*, 2016, 7:714.

[37] Young K S. The Research and Controversy Surrounding Internet Addiction[J]. *Cyberpsychology & Behavior: The Impact of the Internet, Multimedia and Virtual Reality on Behavior and Society*, 1999, 2(5):381-383.

[38] Wang L, Wu L, Lin X, Zhang Y, Zhou H, Du X, Dong G H. Altered Brain Functional Networks in People With Internet Gaming Disorder: Evidence From Resting-State fMRI[J]. *Psychiatry Research. Neuroimaging*, 2016, 254:156-163.

[39] Thurm F, Zink N, Li S C. (2018). Comparing Effects of Reward Anticipation on Working Memory in Younger and Older Adults[J]. *Frontiers in Psychology*, 2018, 9:2318.

[40] Hanumantha S, Kamath A, Shastry R. Diurnal Variation in Visual Simple Reaction Time Between and Within Genders in Young Adults: An Exploratory, Comparative, Pilot Study[J]. *The Scientific World Journal*, 2021, 2021:6695532.

[41] Liesefeld H R, Janczyk M. Combining Speed and Accuracy to Control for Speed-Accuracy Trade-Offs[J]. *Behavior Research Methods*, 2019, 51(1):40-60.

[42] Perry B A L, Lomi E, Mitchell A S. Thalamocortical Interactions in Cognition and Disease: The Mediodorsal and Anterior Thalamic Nuclei[J]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2021, 130:162-177.

[43] Hippmann B, Tzvi E, Göttlich M, Weiblen R, Münte T F, Jessen S. Effective Connectivity Underlying Reward-Based Executive Control[J]. *Human Brain Mapping*, 2021, 42(14):4555-4567.

[44] Dong G, Lin X, Zhou H, Lu Q. Cognitive Flexibility in Internet Addicts: fMRI Evidence From Difficult-to-Easy and Easy-to-Difficult Switching Situations[J]. *Addictive Behaviors*, 2014, 39(3):677-683.

[45] Grogan J P, Randhawa G, Kim M, Manohar S G. Motivation Improves Working Memory by Two Processes: Prioritization and Retrieval Thresholds[J]. *Cognitive Psychology*, 2022, 135:101472.

[46] Wolf C, Lappe M. Motivation by Reward Jointly Improves Speed and Accuracy, Whereas Task-Relevance and Meaningful Images Do Not[J]. *Attention, Perception & Psychophysics*, 2023, 85(3):930-948.

[47] Canessa N, Basso G, Poggi P, Gianelli C. Altered Striatal-Opercular Intrinsic Connectivity Reflects Decreased Aversion to Losses in Alcohol Use Disorder[J]. *Neuropsychologia*, 2022, 172:108258.
[48] Duehlmeyer L, Levis B, Hester R. Effects of Reward and Punishment on Learning From Errors in Smokers[J]. *Drug and Alcohol Dependence*, 2018, 188:32-38.
[49] Fauth-Bühler M, Mann K. Neurobiological Correlates of Internet Gaming Disorder: Similarities to Pathological Gambling[J]. *Addictive Behaviors*, 2017, 64:349-356.
[50] Zhang J, Hu Y, Wang Z, Wang M, Dong G H. Males are More Sensitive to Reward and Less Sensitive to Loss Than Females Among People With Internet Gaming Disorder: fMRI Evidence From a Card-Guessing Task[J]. *BMC Psychiatry*, 2020, 20(1):357.
[51] Xu S, Qi S, Duan H, Zhang J, Akioma M, Gao F, … Yuan Z. Task Difficulty Regulates How Conscious and Unconscious Monetary Rewards Boost the Performance of Working Memory: An Event-Related Potential Study[J]. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 2022, 15:716961.

(通讯作者: 王江洋 E-mail: wangjiangyang@synu.edu.cn)

作者贡献声明：

高源霞：提出研究设计方案；实验实施，数据采集；数据分析；论文起草。

王江洋：提出研究方向和研究思路；完善研究设计方案；论文最终版本修订。